

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 396 784**

21 Número de solicitud: 201130361

51 Int. Cl.:

H04B 10/2507 (2013.01)

12

SOLICITUD DE PATENTE

A2

22 Fecha de presentación:

15.03.2011

43 Fecha de publicación de la solicitud:

26.02.2013

71 Solicitantes:

MEDLUMICS, S.L. (100.0%)

C/ de La Hoya, 2

39400 Los Corrales de Buelna (Cantabria) ES

72 Inventor/es:

RUBIO GUIVERNAU, José Luis y

MARGALLO BALBAS, Eduardo

74 Agente/Representante:

CARVAJAL Y URQUIJO, Isabel

54 Título: **SISTEMA INTEGRABLE DE ECUALIZACION ACTIVA DE LA DISPERSION CROMATICA.**

57 Resumen:

Sistema integrable de ecualización activa de la dispersión cromática caracterizado por comprender unos medios ópticos de multiplexado configurados para seleccionar uno entre una multiplicidad de caminos ópticos (5) formados cada uno por la concatenación de una pluralidad de segmentos de guías de onda (2, 2, 2,...), caracterizadas dichas guías de onda (2, 2, 2,...) por sus vectores de coeficientes de retraso de grupo y de dispersión, por unidad de longitud, donde la pluralidad de segmentos de guías de onda (2, 2, 2,...) comprende al menos dos vectores de coeficientes de retraso de grupo y de dispersión, por unidad de longitud, distintos y donde dichos vectores de coeficientes de retraso de grupo y de dispersión, por unidad de longitud, forman un sistema generador del espacio vectorial de coeficientes a ecualizar.

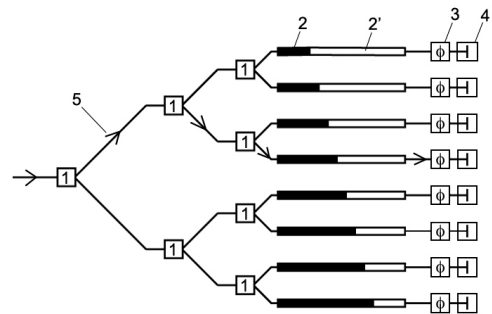


Fig. 2

DESCRIPCIÓN

Sistema integrable de ecualización activa de la dispersión cromática.

Campo de la invención

La presente invención se engloba dentro del campo de la tomografía de coherencia óptica de ultra-alta resolución, y más en concreto, en los métodos de compensación de la dispersión cromática.

Antecedentes de la invención

La dispersión cromática es un problema en tomografía de coherencia óptica, porque induce una pérdida de resolución por ensanchamiento del patrón de interferencia (OCT, Optical Coherence Tomography) si no está equilibrada entre los brazos de referencia y muestreo. Existen distintos métodos de compensación de la dispersión cromática, que en general se pueden clasificar en dos grupos: uno que utiliza la ecualización física de los dos brazos y otro que intenta compensar a posteriori mediante software la dispersión que no se ha podido ecualizar físicamente. Cuando la dispersión cromática es dependiente de la profundidad del escaneo, bien debido al método de escaneo, a la configuración física del sistema, o a las propiedades del material o tejido que se está estudiando, la compensación de la misma se vuelve más difícil de hacer de forma física. Se han descrito sistemas de compensación de la dispersión mediante software que se adaptan a esta situación, pero tienen la desventaja de que al estar basados en técnicas de procesamiento de señal, están limitados en su capacidad de adaptación, y necesitan partir de un grado de desajuste de la dispersión cromática moderado. De otro modo, la intensidad de la señal disminuye hasta quedar enterrada en el ruido.

En sistemas de ultra-alta resolución, el problema de la dispersión cromática dependiente de la profundidad es especialmente importante, debido a su baja tolerancia a desajustes, pero también en sistemas de óptica integrada que hagan uso de materiales con fuertes coeficientes de dispersión en torno a la longitud de onda de trabajo, como el silicio, y que intenten ajustar la distancia de trabajo de forma discreta mediante la conmutación de caminos diferentes. La solución de este problema es también importante en líneas de retraso que haga uso de algún efecto que tenga propiedades dispersivas, como puede ser el efecto termo-óptico del silicio a $1.3\mu\text{m}$, que pueda perjudicar a la resolución en profundidades de escaneo grandes y para altas resoluciones, aunque si el efecto es moderado puede ser compensado también de forma numérica.

En la literatura de patentes existen documentos sobre este tema. En particular, la solicitud WO2005/117534, la US5994690 y la WO 2007/127395 A2 describen métodos de compensación de la dispersión mediante software. En concreto, en la solicitud WO2005/117534 la compensación de la dispersión se realiza mediante métodos numéricos, en la solicitud US5994690 se describe un algoritmo que usa una función de autocorrelación para corregir los datos de imagen y en la solicitud WO 2007/127395 A2 se generan unos parámetros para la compensación de la dispersión.

El artículo de Guillermo Tearney et al "High-Speed Phase-and Group-Delay Scanning with a Grating-Based Phase Control Delay Line" Opt. Lett. 1997, 22 (27), pp. 1811-1813 describe un sistema de compensación de la dispersión basado en óptica discreta y una red de difracción. Sin embargo, este sistema sólo hace frente a la dispersión cromática de primer orden y requiere óptica discreta y no es integrable.

La solicitud de patente US2005/0058397 A1 describe un sistema de compensación de la dispersión que utiliza tres interferómetros Mach-Zender en cascada para producir una dispersión ajustable. Por el hecho de utilizar interferómetros el sistema descrito presenta un rango espectral libre (Free Spectral Range o FSR) limitado, y existe un compromiso entre el FSR y la máxima dispersión compensable. En el documento se describe cómo utilizar tal invención para compensar la dispersión en sistemas multi-canal mediante la elección de un FSR que sea divisor entero de la separación espectral entre canales, por lo que se declara que el compensador es acromático. Aunque esto es cierto para sistemas de telecomunicación multi-canal, la aplicación en OCT de un sistema como el descrito en dicho documento requeriría aumentar el FSR en varios órdenes de magnitud respecto a los valores mencionados en el documento, lo que supondría una reducción considerable de la máxima dispersión compensable. Por otra parte, este sistema no permite ajustar de forma independiente el retraso de grupo y la dispersión cromática introducida.

Por otra parte, la solicitud US 2005/0018201 A1 describe un método y un aparato que aumenta la sensibilidad de la detección en OCT en interferometría de baja coherencia pero dividiendo la señal en bandas espectrales, un procedimiento diferente al que se presenta en la presente solicitud.

Se considera por tanto que existe la necesidad de un sistema que permita compensar físicamente la dispersión cromática, que sea integrable mediante técnicas de fabricación de óptica integrada y que pueda utilizarse en sistemas de tomografía de coherencia óptica. Además, es importante para su utilización en OCT que dicho sistema ofrezca la posibilidad de compensar la dispersión cromática de cualquier orden, así como la de ajustar libremente la combinación de retraso de grupo y dispersión de diferentes órdenes introducida en cada momento por el sistema.

Descripción de la invención

Esta invención presenta una solución al problema de la dispersión cromática en tomografía de coherencia óptica, que utiliza la ecualización física, y que es apta para ser integrada utilizando técnicas de microfabricación. La solución presentada consiste en la concatenación de segmentos de guía de onda con propiedades dispersivas distintas, de tal forma que la unión resultante posea propiedades de dispersión determinadas. En la invención se recurre a la generación de una multiplicidad de estos elementos, con distintas combinaciones de longitudes de cada tipo de guía de onda, para, mediante medios ópticos de multiplexado, obtener coeficientes de dispersión seleccionables. El multiplexado puede ser de distintos tipos, incluyendo implementaciones en el dominio del tiempo o de la frecuencia. Para la exposición, se opta por una implementación en el dominio del tiempo utilizando conmutadores ópticos, por su conservación de la energía, pero cualquier otra técnica de multiplexado es aplicable. La colocación de este dispositivo en un brazo de referencia o muestreo de OCT ofrece un ajuste físico fino de la dispersión. La invención también hace referencia a un modo de evitar interferencia de los caminos ópticos no activos, en el caso de un multiplexado en el dominio del tiempo, si los conmutadores ópticos no son ideales.

En esta invención se plantea un sistema de ecualización física de la dispersión cromática especialmente apropiado para su implementación utilizando óptica integrada y con las aplicaciones arriba citadas, aunque puede ser implementado utilizando otras tecnologías (fibra óptica, cristales fotónicos, etc.) y para otras aplicaciones. La invención consiste en una arquitectura para la construcción de un dispositivo.

El sistema de compensación activa de la dispersión consiste en una multiplicidad de caminos ópticos compuestos de segmentos de guía de onda con propiedades de retraso de grupo y dispersivas distintas. Estas propiedades divergentes pueden resultar de distintas geometrías, materiales del núcleo o materiales del revestimiento, de aplicar estructuras de grabado o dopaje periódicas (o cuasi-periódicas) con propiedades dispersivas (p.ej. cristales fotónicos, redes de difracción de Bragg) en la zona de guiado de luz, o de otra manera. El número de tipos de segmento depende del orden de la dispersión cromática a corregir, siendo dos el número mínimo de tipos diferentes para compensar combinaciones arbitrarias de retraso de grupo y dispersión de segundo orden. Si existe un desajuste entre los modos que viajan en los distintos tipos de segmento, puede ser necesario aplicar un convertidor de tamaño de modo entre ambos, como un adaptador de guía de ondas en embudo (waveguide taper), en el caso de un desajuste geométrico.

Claramente, para poder ecualizar cualquier combinación de coeficientes de dispersión y de retraso de grupo, es necesario que los vectores formados por los coeficientes de dispersión por unidad de longitud y el retraso de grupo por unidad de longitud de cada tipo de guía de onda formen un sistema generador del espacio vectorial de coeficientes a ecualizar, y para que el sistema final sea compacto en el caso general, es conveniente que sean suficientemente distintos.

En el caso general, con n el orden más alto de dispersión a compensar, los posibles vectores de coeficientes de dispersión y de retraso de grupo formarían un espacio vectorial n-dimensional

Si la concatenación de guías de onda estuviera formada por dos tipos de guías de onda, entonces, dos sería el orden más alto de dispersión a compensar, y los dos tipos de guía de onda estarían representados por dos vectores formados por los coeficientes unitarios correspondientes de retraso de grupo y de dispersión de segundo orden. Si dichos vectores son no co-lineales, que en R² es equivalente a decir que forman una base del espacio, cualquier punto del plano puede ser expresado en términos de combinación lineal de los mismos. Esta relación se expresa formalmente en (1.1):

$$\begin{pmatrix} \tau_g \\ D^2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} d\tau_{g1}/dl & d\tau_{g2}/dl \\ dD_1^2/dl & dD_2^2/dl \end{pmatrix} \begin{pmatrix} l_1 \\ l_2 \end{pmatrix} \quad (0.1)$$

En términos físicos, (1.1) significa que cualquier combinación de retraso (τ_g) y dispersión (D^2) puede ser alcanzada mediante la concatenación de dos segmentos de guía de onda de longitud adecuada. Hay zonas del plano que implican longitudes negativas de algún tipo de guía, pero puesto que a todos los efectos en tomografía de coherencia óptica lo importante es la diferencia entre el camino óptico del brazo de referencia y el de muestreo, las longitudes negativas se entienden como positivas en el brazo opuesto.

En cada camino, los segmentos de propiedades diferentes deben tener un conjunto de longitudes único en la multiplicidad. Es posible que las longitudes estén calculadas de forma tal que todos los caminos conmutables introduzcan el mismo retraso de grupo total, o de tal modo que cada una tenga un retraso de grupo diferente (p.ej. linealmente espaciado) y dispersión constante. En el último caso en el que las longitudes de los segmentos de guías de onda introducen un retraso de grupo diferente y una dispersión constante, se desplaza la región de escaneo en el espacio vacío de forma significativa sin introducir dispersión cromática relacionada con las guías de onda.

En una aplicación clara, como es el escaneo de la retina a través del globo ocular, se puede diseñar el dispositivo con una calibración tal que el retraso de grupo adicional introducido en cada camino óptico vaya acompañado por un aumento de dispersión igual a la del humor acuoso para ese retraso de grupo.

5 El cálculo de las longitudes de los segmentos de guía en todos los casos descritos arriba es inmediato a partir de (1.1) simplemente invirtiendo la matriz de coeficientes de dispersión y retraso de grupo.

10 El sistema integrable de ecualización activa de la dispersión cromática comprende unos medios ópticos de multiplexado configurados para seleccionar uno entre una multiplicidad de caminos ópticos formados cada uno por la concatenación de una pluralidad de segmentos de guías de onda, donde dichas guías de onda están caracterizadas por sus vectores de coeficientes de retraso de grupo y de dispersión, por unidad de longitud, y donde la pluralidad de segmentos de guías de onda existen comprende al menos dos vectores de coeficientes de retraso de grupo y de dispersión, por unidad de longitud, distintos y donde dichos vectores de coeficientes de retraso de grupo y de dispersión, por unidad de longitud, forman un sistema generador del espacio vectorial de coeficientes a ecualizar. De forma preferente, los vectores de coeficientes de retraso de grupo y de dispersión, por unidad de longitud, formarán una base del espacio vectorial de coeficientes a ecualizar.

15 Los vectores de coeficientes de retraso de grupo y de dispersión distintos pueden resultar o bien de la utilización de distintos materiales, o bien de la utilización de distintas geometrías y tamaños o bien de la inclusión de perfiles de índice de refracción distintos con propiedades dispersivas que afectan a la luz que se propaga por las guías de onda.

20 Por otra parte, la concatenación de segmentos de guías de onda la pueden formar guías de un mismo tipo de material.

Preferentemente, los medios ópticos de multiplexado serán conmutadores ópticos.

Preferentemente, la concatenación de segmentos de guías de onda comprenderá al menos un convertidor de tamaño de modo.

25 Así mismo, el sistema puede comprender moduladores ópticos configurados para reducir la interferencia de los caminos ópticos no seleccionados.

Por su parte, los segmentos de guías de onda pueden estar concatenados de forma continua, pueden estar terminados en unos medios reflexivos que reflejan la luz por el mismo camino óptico por el que viajó la luz incidente en dichos medios, y, finalmente, pueden estar terminados por un sistema simétrico al sistema del que recibió la luz.

30 La invención presenta un sistema totalmente integrado de compensación de la dispersión resolviendo las dificultades específicas de los sistemas de guía de onda integrada y aprovechando sus ventajas. En particular, se diferencia de sistemas basados en la introducción de materiales macroscópicos en el camino del haz en que no necesita de sistemas ópticos de colimación, produciendo una solución que no interrumpe el camino óptico. Es distinta de los sistemas numéricos, porque ecualiza la dispersión en los dos caminos ópticos de forma física. Es distinta de los sistemas basados en elementos dispersivos macroscópicos porque no requiere elementos ópticos externos y puede ser integrada en dispositivos de óptica planar. Además, permite la compensación de la dispersión hasta un orden arbitrariamente alto.

Comparado con los sistemas numéricos, tiene la ventaja de que su rango de actuación es mucho mayor sin impacto para la relación señal ruido. Además no supone un aumento de los cálculos necesarios para el procesado de la señal de OCT.

40 **Breve descripción de los dibujos**

A continuación se pasa a describir de manera muy breve una serie de dibujos que ayudan a comprender mejor la invención y que se relacionan expresamente con una realización de dicha invención que se presenta como un ejemplo no limitativo de ésta.

45 La Figura 1 muestra una representación cartesiana del espacio vectorial de coeficientes de retraso de grupo y de dispersión, hasta segundo orden de dispersión, con un ejemplo de una posible base formada por las propiedades de dos tipos de guía y los lugares geométricos correspondientes a retraso constante y dispersión constante.

La Figura 2 muestra un sistema básico de ecualización de la dispersión cromática hasta segundo orden con dos tipos de guía de onda en una configuración de reflexión.

50 La Figura 3 muestra un sistema básico de ecualización de la dispersión hasta segundo orden con dos tipos de guía de onda en una configuración de transmisión.

La Figura 4 muestra un sistema básico de ecualización de la dispersión hasta tercer orden con tres tipos de guía de onda en una configuración de reflexión.

La Figura 5 muestra un sistema de equalización de la dispersión cromática hasta orden dos mediante conmutadores ópticos dispuestos en cascada.

Descripción detallada de un modo de realización

5 La figura 1 es una representación cartesiana del caso más simple, aquel en que se compensa la dispersión cromática hasta orden dos, también llamada dispersión de velocidad de grupo. En el diagrama, las abscisas representan el retraso de grupo total o unitario y las ordenadas la dispersión de segundo orden total o unitaria. En la figura los dos tipos de guía de onda $2, 2', 2'', \dots$ están representados por dos vectores formados por los coeficientes unitarios correspondientes.

10 La figura 1 muestra también los lugares geométricos formados por las combinaciones de retraso de grupo y dispersión de segundo orden correspondientes a dos posibles estrategias de selección de las longitudes de los segmentos de guías de onda $2, 2', 2'', \dots$. El caso en el que la selección de las longitudes de los segmentos de guías de onda $2, 2', 2'', \dots$ haga que cada camino óptico 5 introduzca el mismo retraso de grupo total está ilustrado en la figura 1 como una línea de retraso constante paralela al eje de ordenadas, y el caso en el que la selección de las longitudes de los segmentos de guías de onda $2, 2', 2'', \dots$ haga que cada camino óptico 5 introduzca un retraso de grupo diferente y una dispersión de segundo orden constante, está ilustrado como una línea de dispersión constante paralela al eje de abscisas.

15 La figura 1, muestra también una línea oblicua cuya pendiente viene dada por la relación entre los coeficientes de retraso de grupo y dispersión por unidad de longitud del medio a compensar.

20 La selección del camino óptico 5 se puede hacer mediante uno o dos grupos de conmutadores ópticos 1. En función de la aplicación, la luz puede dirigirse a un solo camino óptico 5 de la multiplicidad y luego ser reflejada de vuelta mediante unos medios reflexivos 4 a través del mismo camino óptico 5, o ser conducida mediante conmutadores 1 simétricos a los de iluminación a una guía de onda $2, 2', 2'', \dots$ común localizada a la salida. La primera configuración es útil por ejemplo en una situación en que el elemento de compensación activa de la dispersión es el último componente del brazo de referencia. La última configuración es ideal para aplicaciones en transmisión, como las que son necesarias cuando el elemento se coloca en el brazo de muestreo. Las dos opciones están ilustradas en las figuras 2 y 3 respectivamente.

25 La figura 2 muestra un sistema básico de equalización de la dispersión cromática en una configuración de reflexión incluyendo moduladores ópticos 3 de fase para reducir la interferencia entre caminos 5 debido a no idealidades de los conmutadores ópticos 1.

30 Por su parte, la figura 3 muestra un sistema básico de equalización de la dispersión en una configuración de transmisión incluyendo moduladores ópticos 3 de fase para reducir la interferencia entre caminos ópticos 5 debido a no idealidades de los conmutadores ópticos 1.

35 Idealmente, en una configuración en el dominio del tiempo, los conmutadores 1 deberían contar con suficiente velocidad para la aplicación considerada. En la medida de lo posible, dispositivos integrados activos con capacidad de conmutar en un tiempo breve serán preferidos, aunque otras opciones pueden pasar por conmutadores 1 mecánicos, micromecánicos o de otro tipo.

40 En el caso de la tomografía de coherencia óptica, es indeseable que la no idealidad de los conmutadores 1 haga que componentes pequeños pero significativos de energía luminosa pasen por caminos ópticos 5 no deseados y produzcan una contribución al patrón de interferencia, apareciendo como fuente de perturbación. En ese sentido, es preferible que aparezcan moduladores 3 (p.ej. de fase/frecuencia) en cada posible camino óptico 5, y aplicar una modulación específica al camino óptico 5 deseado, desplazando el espectro del mismo en el fotodetector respecto a otros, consiguiendo una supresión considerable de dicha fuente de interferencia.

45 En la figura 4, con configuración de reflexión, no se incluyen moduladores ópticos 3 de fase como en las figuras anteriores, pero tal y como se ha mencionado, su inclusión reduciría en gran medida la interferencia. Además en este caso se muestran tres tipos de guías de onda $2, 2', 2'', \dots$, lo que permitiría compensar la dispersión de hasta tercer orden.

50 A pesar de que en las figuras anteriores se muestra un árbol binario de conmutadores 1 para la selección del elemento de guía de onda $2, 2', 2'', \dots$ deseado dentro de la multiplicidad del dispositivo, es posible considerar otras arquitecturas de selección de caminos 5, incluyendo aquellas en las que los conmutadores 1 sirvan para inyectar la luz en distintos puntos de segmentos de guía $2, 2', 2'', \dots$ comunes, o combinaciones basadas en estructuras donde la concatenación de segmentos de guías de onda $2, 2', 2'', \dots$ se realiza mediante conmutadores ópticos 1.

55 En la figura 5 se muestra una implementación en la que la selección de caminos 5 se hace mediante una configuración de conmutadores ópticos 1 dispuestos en cascada, donde en cada etapa de la cascada los conmutadores 1 permiten elegir entre diferentes segmentos de guías de onda $2, 2', 2''$. Mediante la activación de los mismos, es posible dirigir la energía óptica hacia uno solo de los 2^m caminos ópticos 5 posibles, donde m es el

número de etapas en dicha configuración en cascada. Si la selección de longitudes de las distintas guías de onda $2, 2', 2'', \dots$ en cada rama alternativa es adecuada es posible obtener un conjunto de puntos no solapados en el espacio vectorial de coeficientes de retraso y dispersión de interés. En el diagrama mostrado la selección en cada rama es binaria, pero cabe pensar en conmutadores 1 con más de dos entradas y salidas, especialmente cuando se desee compensar la dispersión hasta un orden mayor a dos.

5 En esta configuración la presencia de moduladores ópticos 3 de fase es de nuevo opcional y tiene como función desplazar la frecuencia del patrón de interferencia correspondiente a cada camino óptico 5 posible hacia una zona distinta del espectro, donde pueda ser filtrado y separado de los demás. De este modo, si los conmutadores 1 no son ideales, es posible reducir notablemente la interferencia de los caminos 5 no activos.

10 Ciertamente, el hecho de que la elección de caminos ópticos 5 se haga de forma discreta hace que el ajuste de la dispersión no sea exacto en muchas aplicaciones. Sin embargo, si el número de caminos es suficientemente alto, la dispersión residual (error de discretización) puede ser despreciable para la mayor parte de aplicaciones, o sujeta a compensación mediante métodos numéricos.

15 Esta invención puede ser utilizada tanto para sistemas basados en el dominio del tiempo, de la frecuencia, de fuente variable, etc., pues todos comparten la pérdida de resolución debida a la dispersión cromática.

Una vez descrita de forma clara la invención, se hace constar que las realizaciones particulares anteriormente descritas son susceptibles de modificaciones de detalle siempre que no alteren el principio fundamental y la esencia de la invención.

REIVINDICACIONES

- 5 1. Sistema integrable de ecualización activa de la dispersión cromática caracterizado por comprender unos medios ópticos de multiplexado configurados para seleccionar uno entre una multiplicidad de caminos ópticos (5) formados cada uno por la concatenación de una pluralidad de segmentos de guías de onda ($2, 2', 2'', \dots$), caracterizadas dichas guías de onda ($2, 2', 2'', \dots$) por sus vectores de coeficientes de retraso de grupo y de dispersión, por unidad de longitud, donde la pluralidad de segmentos de guías de onda ($2, 2', 2'', \dots$) comprende al menos dos vectores de coeficientes de retraso de grupo y de dispersión, por unidad de longitud, distintos y donde dichos vectores de coeficientes de retraso de grupo y de dispersión, por unidad de longitud, forman un sistema generador del espacio vectorial de coeficientes a ecualizar.
- 10 2. Sistema integrable de ecualización activa de la dispersión cromática, según la reivindicación 1, caracterizada por que los vectores de coeficientes de retraso de grupo y de dispersión, por unidad de longitud, forman una base del espacio vectorial de coeficientes a ecualizar.
3. Sistema integrable de ecualización activa de la dispersión cromática, según la reivindicación 1, caracterizado por que los vectores de coeficientes de retraso de grupo y de dispersión distintos resultan de la utilización de distintos materiales.
- 15 4. Sistema integrable de ecualización activa de la dispersión cromática, según la reivindicación 1, caracterizado por que los vectores de coeficientes de retraso de grupo y de dispersión distintos resultan de la utilización de distintas geometrías y tamaños.
- 20 5. Sistema integrable de ecualización activa de la dispersión cromática, según la reivindicación 1, caracterizado por que los vectores de coeficientes de retraso de grupo y de dispersión distintos resultan de la inclusión de perfiles de índice de refracción distintos con propiedades dispersivas que afectan a la luz que se propaga por las guías de onda ($2, 2', 2'', \dots$).
6. Sistema integrable de ecualización activa de la dispersión cromática, según reivindicación 1, caracterizado por que la concatenación de segmentos de guías de onda ($2, 2', 2'', \dots$) la forman guías de un mismo tipo de material.
- 25 7. Sistema integrable de ecualización activa de la dispersión cromática, según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que los medios ópticos de multiplexado son conmutadores ópticos (1).
8. Sistema integrable de ecualización activa de la dispersión cromática, según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que la concatenación de segmentos de guías de onda ($2, 2', 2'', \dots$) comprende al menos un convertidor de tamaño de modo.
- 30 9. Sistema integrable de ecualización activa de la dispersión cromática, según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que comprende moduladores ópticos (3) configurados para reducir la interferencia de los caminos ópticos (5) no seleccionados.
- 35 10. Sistema integrable de ecualización activa de la dispersión cromática, según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que los segmentos de guías de onda ($2, 2', 2'', \dots$) están concatenados de forma continua.
11. Sistema integrable de ecualización activa de la dispersión cromática, según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que los segmentos de guías de onda ($2, 2', 2'', \dots$) están terminados en unos medios reflexivos (4) que reflejan la luz por el mismo camino óptico (5) por el que viajó la luz incidente en dichos medios (4).
- 40 12. Sistema integrable de ecualización activa de la dispersión cromática, según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que los segmentos de guías de onda ($2, 2', 2'', \dots$) están terminados por un sistema simétrico al sistema del que recibió la luz.

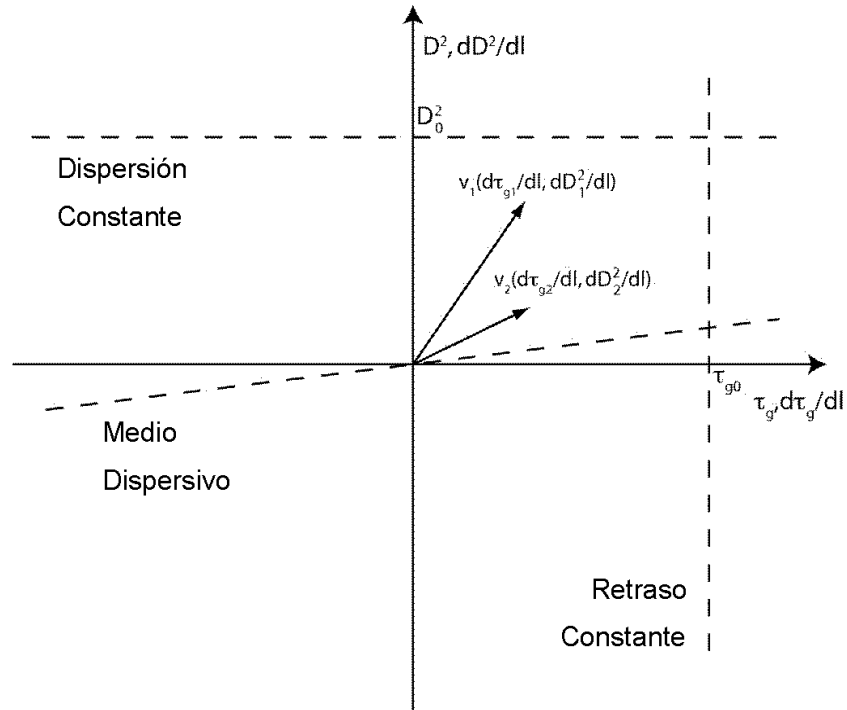


Fig. 1

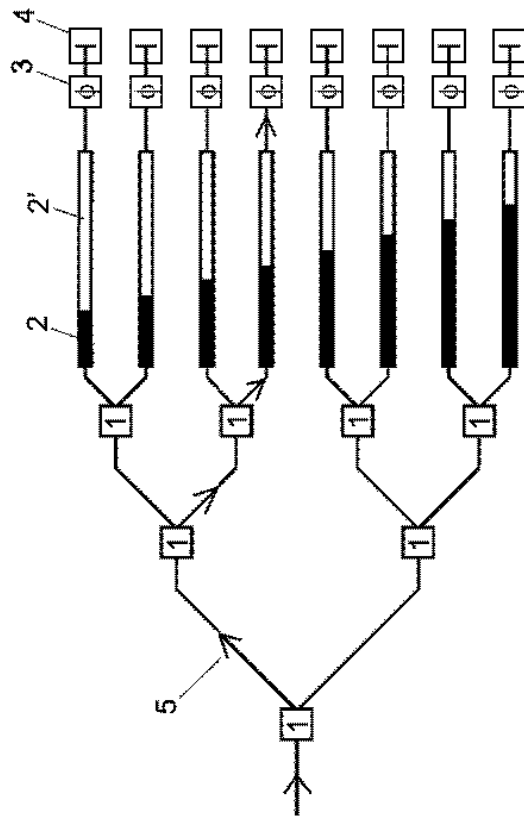


Fig. 2

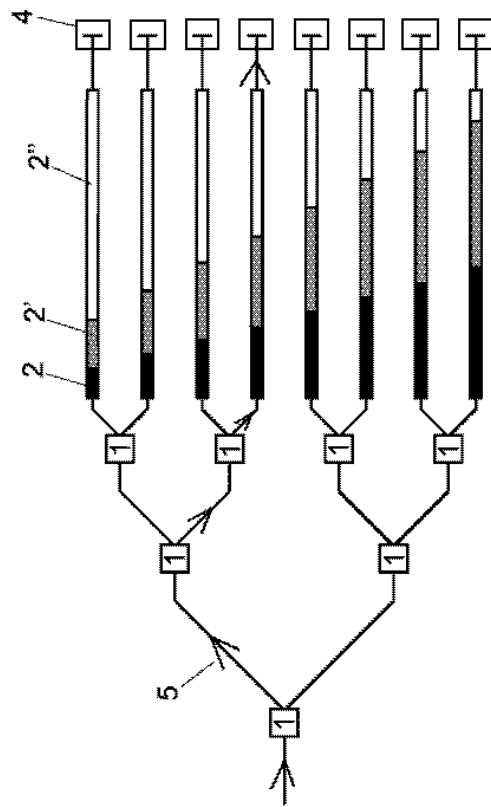


Fig. 4

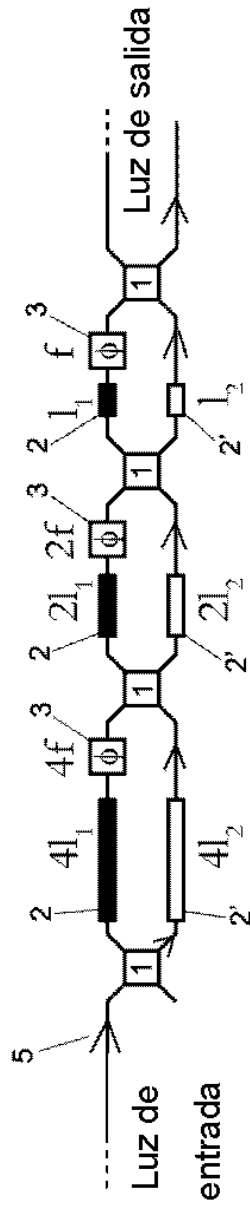


Fig. 5